

高速道路の土工構造物の変状と対策—特定更新等工事—

Deformation analysis and countermeasure of expressway's earthwork structures

- Renewal project -

和地 敬¹, 永田 政司², 藤岡 一頼³

1 高速道路総合技術研究所・道路研究部土工研究室・t.wachi.aa@ri-nexco.co.jp

2 高速道路総合技術研究所・道路研究部土工研究室

3 高速道路総合技術研究所・道路研究部土工研究室

概 要

高速道路の土工構造物は、短時間異常降雨の増加など外的環境の変化などにより、災害の発生リスクが高まっている。東日本高速道路株式会社、中日本高速道路株式会社、西日本高速道路株式会社（以下「NEXCO」という。）においては、高速道路を長期的に保全する目的で、高速道路の土砂災害の分析および点検結果を分析し、崩壊要因を有する要件などを抽出した。その結果、短時間異常降雨の対策として、「盛土内浸透水の排除」、「のり面排水の見直し」、現在の技術基準に追随していない構造物の対策として「旧タイプグラウンドアンカー」について対策が必要と判断した。これらの要件に該当するのり面については、大規模に補修する方針とした。本報告は、これらの分析・抽出結果および、修繕方法について紹介する。

キーワード：大規模更新等工事、大規模修繕、のり面、盛土、グラウンドアンカー、排水構造物

1. はじめに

NEXCO が管理する高速道路の延長は約 9,000km に達している。また、1 日の利用台数は約 700 万台であり、そのうち大型車の利用台数は 1 日約 200 万台となるなど、経済活動、その他発災時の緊急輸送としての使用等、我が国の生活に欠かすことのできない重要な社会インフラの 1 つとなっている。

1963 年 7 月 16 日に我が国初の高速自動車国道として名神高速道路が開通してから、すでに供用後 30 年以上経過する区間が約 3,700km となっている。経年による構造物の変状の顕在化、大型車交通量の増加や車両重量違反車の通行、凍結防止剤散布量の増加、異常降雨回数の増加、旧基準で設計施工された構造物の変状の顕在化等、高速道路の構造物の使用環境は厳しいものとなっている。

NEXCO ではこれまで点検、点検結果の評価、点検結果の記録、補修計画の策定、補修、補修結果の記録、データの蓄積をおこない、ライフサイクルコストが最小となるような維持管理をおこなってきた。しかしながら、従前の維持管理方法による部分的な補修では、構造物の将来的な健全性が確保できないことが明らかになってきている。

これを受けて、高速道路資産の長期的保全及び更新のあり方について予防保全の観点を検討するために、NEXCO は「高速道路資産の長期保全および更新のあり方に関する技術

検討委員会（委員長：藤野陽三 東京大学大学院工学系研究科特任教授）（以下「長期保全等検討委員会」という）を 2012 年 11 月に設置した。高速道路資産の適切な維持管理・更新のあり方について検討をし、2014 年 1 月に最終報告書を公表した¹⁾。

本稿では、長期保全等検討委員会において検討された内容の一部である、土砂災害および点検結果を分析し、崩壊要因を有する要件を抽出した結果を紹介する。併せて、降雨対策として必要と判断した、「盛土内浸透水の排除」、「のり面排水の見直し」、また、現在の技術基準に追随していない構造物の対策として必要と判断した「旧タイプグラウンドアンカー」の修繕方法についても紹介する。

2. 高速道路の現状と課題

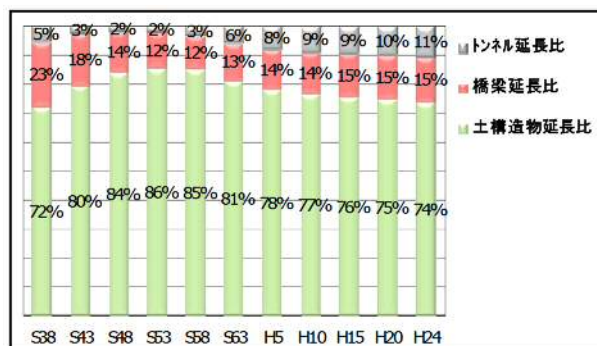
2.1 高速道路の現状

図 1 に示すように、NEXCO が管理する高速道路の土工構造物の延長比は平成 24 年時点で約 7 割(6,000km)を占め、他の構造物と比較して多い。したがって、降雨などの外的作用に対するリスクは高いといえる。

2.2 高速道路資産（土工構造物）の変状状況

図 2 に平成 8 年度と平成 18 年度の道路防災点検の平成「カルテ対応箇所」と「要対策箇所」を合わせた箇所数を示す。道路のり面等においては、カルテ対応箇所以上の箇所

所数は、10 年間で約 2 倍に増加しており、今後の点検においても上記箇所は増加すると予想される。



※高速自動車国道のみ

図1 構造物延長比率

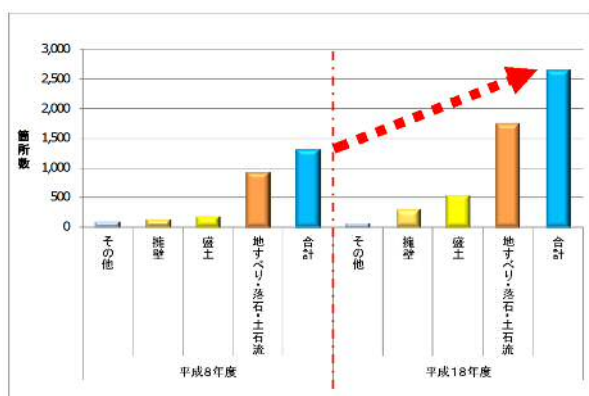


図2 「カルテ対応箇所+要対策箇所」の箇所数

2.3 高速道路土構造物の課題

長期保全等検討委員会での検討にあたり、構造物の変状発生要因として考えられる事象について土工構造物に係るものを以下に示す。

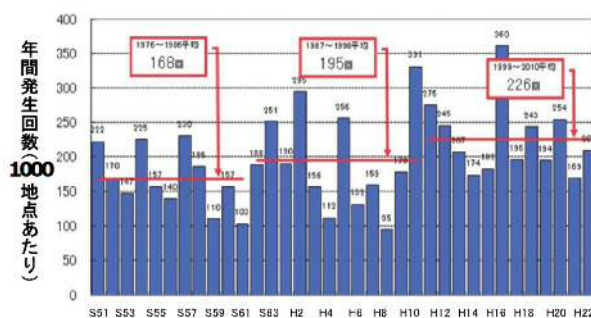
2.3.1 外的環境の変化に伴う変状

図3に、アメダスで観測された1時間降水量（毎正時における前1時間降水量）50mm以上の短時間強雨の発生回数を年ごとに集計し、集計値を1,000地点あたりの回数に換算した値の年ごとの変化を示す。図に示すように10年単位でみるとあきらかに50mm以上の降雨の年間発生回数は増加傾向である。図4に、高速道路における年間災害発生件数と図3の1時間降雨量50mm以上の年間発生回数を同じ年で比較したものを示すと、短時間異常降雨の多い年は、高速道路の災害も多く発生していることが解った。今後、異常降雨は増加すると予想されることから、降雨に起因する災害の発生リスクも高くなることが懸念される。

2.3.2 設計・施工基準類の変遷に伴う変状

旧基準で設計施工された構造物が、経年による変状が顕在化してきている。土工構造物でいえば、切土のり面におけるグラウンドアンカーの変状が代表される。

ここで言う旧基準とは、グラウンドアンカーの防食性能



出典：気候変動監視レポート2010_気象庁

図3 1時間降水量50mm以上の年間発生回数

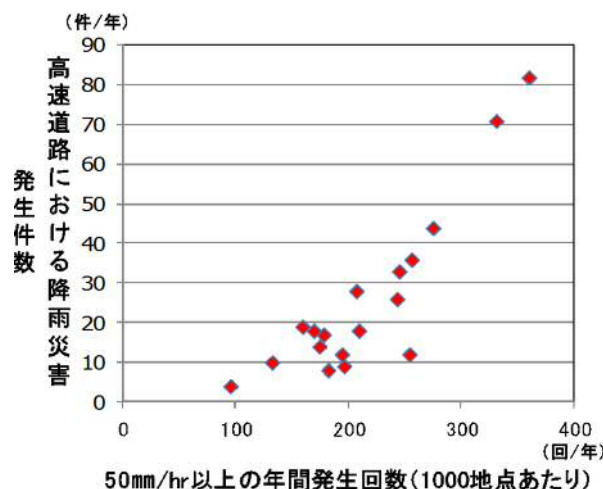


図4 1時間降水量50mm以上の年間発生回数及び

降雨災害発生件数

を向上させるために、1992年にNEXCOが制定した「グラウンドアンカー設計施工指針」以前の基準のことである。この基準でグラウンドアンカーの防食性能の向上が図られたため、この基準以前のグラウンドアンカーは防食性能が低く、このグラウンドアンカーを有しているのり面は、今後、変状が生じる可能性があるといえる。

3. 変状発生要因の整理

3.1 災害事例からの分析

降雨等による変状事例から盛土、切土、自然斜面など構造型態別に分析を行った。対象とした期間は、1993年～2004年であり、データ数は、2,360件である。図5に構造型態ごとの被災件数の内訳、図6に構造型態ごとの1件あたりの被災土量を示す。図5より、被災件数は盛土、切土が全体の約90%を占めることがわかる。図6より、区域外自然斜面等は、1件あたりの被災土量が多く、一旦、被災したら高速道路への影響が大きいと考えられる。

切土と盛土の被災件数が多いことから、延長あたりの被災件数と土量より、災害発生リスクの分析を行った。

切土と盛土の延長あたりの被災件数を図7に、延長あたりの被災土量を図8に示す。延長あたりの被災件数と被災土量ともに、切土が多く、災害発生リスクが高いといえる。

切土部と盛土部の被災時の規模を把握するために、切土部の盛土部の1回あたりの被災規模を超大規模、大規模、

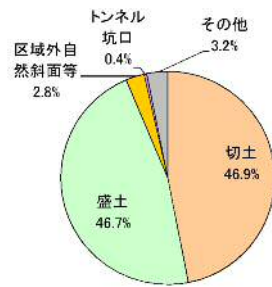


図5 構造形態ごとの被災件数の内訳

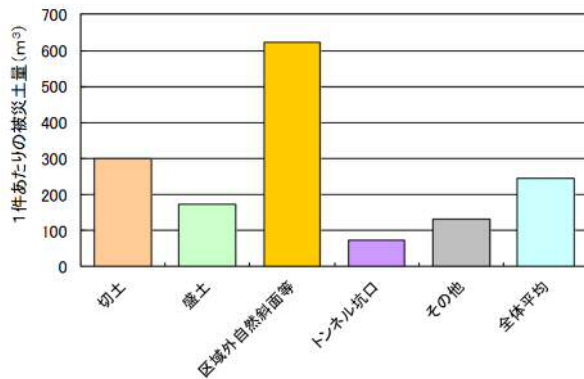


図6 構造形態ごとの1件あたりの被災土量

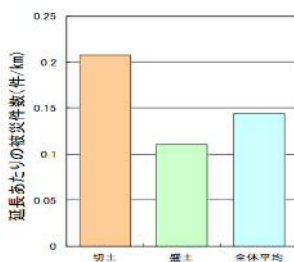


図7 延長あたりの被災件数

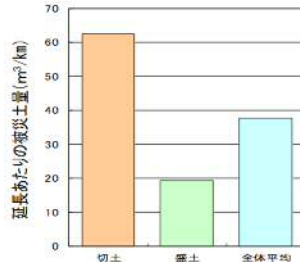


図8 延長あたりの被災土量

中規模、小規模と分類しそれぞれの割合を切土部について図9に、盛土部について図10に示す。切土部・盛土部ともに、約80%以上の被災規模が、小規模と中規模で占められている。これらの被災規模は1,000m³以下であり、この大規模以上の災害を崩壊対策箇所（大規模修繕対象箇所）に選定することが望ましいといえる。崩壊による交通への影響について、本線への影響の有無と内訳を図11に示す。崩壊の約80%以上は車線に影響が無い程度であり、

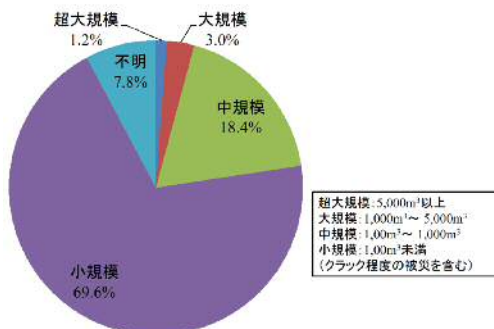


図9 切土部の被災規模ごとの内訳

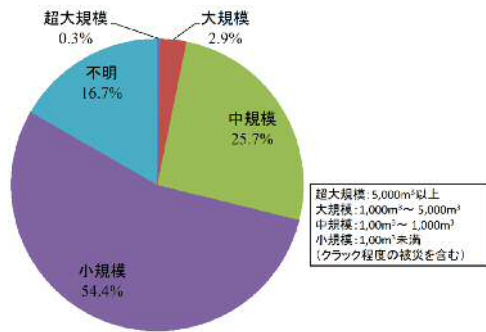


図10 盛土部の被災規模ごとの内訳

前述の中規模以下の崩壊は、車線に直接影響を及ぼす頻度は少ないことが想像される。また、構造形態ごとの車線への影響の有無の割合を図12に示す。切土、区域外自然斜面等については、災害が発生した時に、約30%以上の割合で車線への影響があり、切土、区域外自然斜面等においては、発災時の車線への影響が高いといえる。

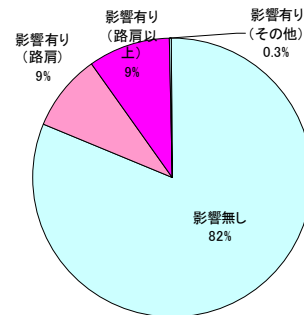


図11 崩壊による本線への影響の有無

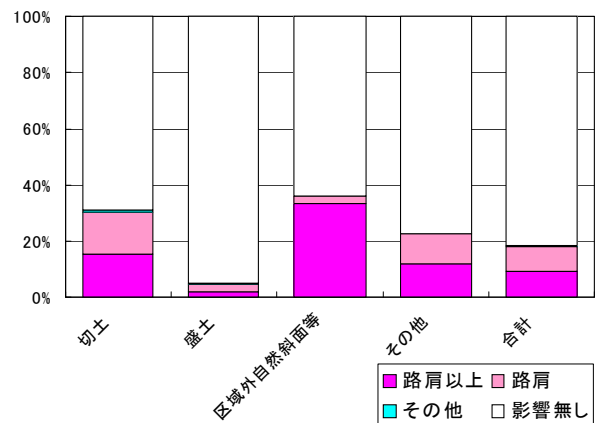


図12 構造物形態ごとの本線への影響の割合

以上の変状分析から、盛土、切土について災害発生件数が多く、発災時の影響が大きいとして分析が必要とした。ただし、切土部に関しては、地山の風化特性、風化の進行具合、降雨浸透特性など要因が複雑なため、引き続き調査を行っていくこととし、今後の課題とし、盛土部の詳細な変状分析を実施した。

3.2 変状分析

3.3 盛土

1993 年～2004 年までの約 1, 100 件の盛土部における被災データを盛土高さと材料に着目して分析をした。

3.3.1 盛土高さ

延長あたりの被災件数を盛土段数ごとに分類したものを図 13 に示す。なお、盛土高さごとの分類は、煩雑になることから盛土段数（1 段 7m）で分類した。図より盛土段数が 3 段以上になると、延長あたりの被災件数が多くなる。また、同様に盛土延長あたり 1 件あたりの被災土量でまとめた結果を図 14 に示す。図 13 と同様に盛土段数が 3 段以上になると、被災土量が多くなり、また被災土量は 2 段の盛土に比べ 10 倍程度となる。

従って、盛土延長あたりの被災件数と崩壊規模の分析から、3 段以上の盛土は、崩壊に対するリスクが高く事前の対策が必要であると言える。実際に高速道路で盛土が崩壊した事例においても盛土は 3 段以上であることが多く報告されている。

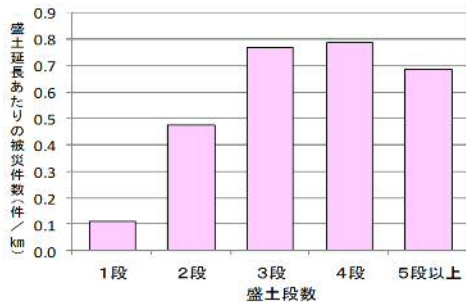


図13 盛土段数ごとの延長あたりの被災件数

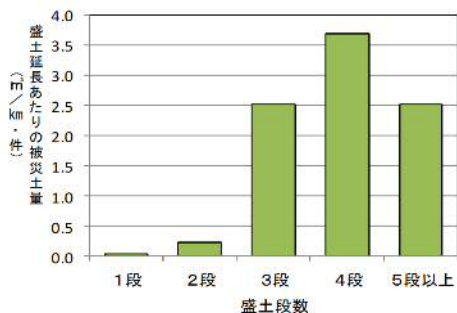


図14 1件あたり延長あたりの被災土量

3.3.2 盛土材料

被災件数を盛土材料ごとに分類した結果を図 15 に示す。図より、材料の違いにより被災件数が異なり、粘性土、まさ土、山砂、泥岩、しらすの材料の順番で多く、これらの材料で全体の約 70%を占める。また、1 件あたりの被災土量を盛土材料ごとに分類した結果を図 16 に示す。図より 1 件あたりの被災土量は泥岩、まさ土、しらすの順に多く、その他の材料の 1 件あたりの被災土量の平均と比較すると泥岩が約 7 倍、まさ土としらすが約 3 倍である。被災件数と被災土量の分析の結果から、粘性土、まさ土、山砂、

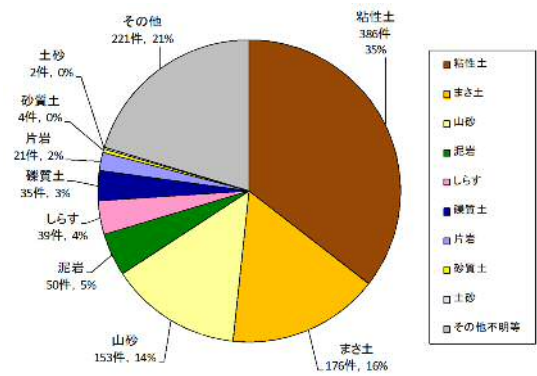


図15 盛土材料ごとの被災件数

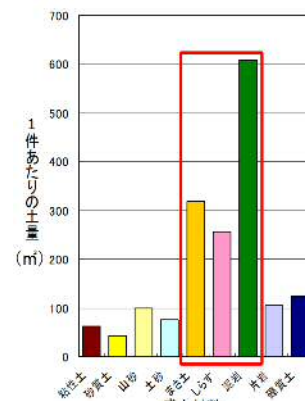


図16 1件あたりの被災土量

泥岩、しらすを盛土材料として用いた盛土は、崩壊に対するリスクが高く事前対策を検討する必要があると言える。特に、盛土に使用される脆弱岩は、施工中には塊状であるが、乾燥・湿潤の繰り返し作用により徐々にスレーキングする材料である。図 17 は脆弱岩が、経年とともにどの程度せん断強度が低下するかを示したものである。約 25%以上の含水比を、高含水比としてみたが、経年により含水比が上昇し、せん断強度が低下している傾向がみられる。さらに、脆弱岩を盛土材料として使用した場合、雨水の浸入により含水比が上昇することで、徐々にスレーキングが進行し、盛土が圧縮沈下することが経験的に明らかになっていることから、圧縮沈下により排水施設等に変形が生じ、盛土内へ水が供給されることによる崩壊リスクが大きくなることが想定される。このため、盛土内の含水比を上昇させない対策が必要であるとともに、盛土内の排水管についても健全性を確認する必要がある。

なお、1987 年以降に施工した脆弱岩を用いた盛土は転圧力の高い振動ローラーなどの導入により、沈下対策と盛土内浸透水抑制に配慮した施工がされている。従って、1986 年以前の脆弱岩を材料として用いた盛土については、優先的な対策をする必要がある。

3.4 切土（グラウンドアンカー）

西日本高速道路関西支社管内の旧タイプアンカー5,063 本（41 のり面）、新タイプアンカー3,766 本（26 のり面）

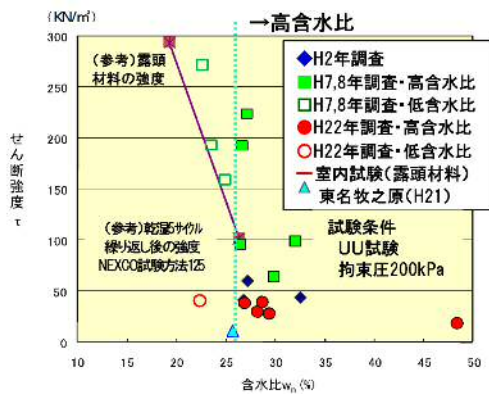


図17 盛土材の含水比とせん断強度の関係

について、2000年と2009年にアンカーの頭部目視調査を実施した結果を基に、健全度をⅠ～Ⅴ段階に区分し、その内訳の変化を整理したものを図18に示す。ここで、防食基準を満足するアンカーを新タイプアンカー、満足しないアンカーを旧タイプアンカーとしている。図より旧タイプアンカーについては、新タイプアンカーと比較して、特に「機能低下」していると判断される評価Ⅲ以上の割合が大きく増加していることから経年により劣化に伴う変状が進行していることが解る。

グラウンドアンカーは切土に対して、複数で機能して抑止効果を発揮ことから、グラウンドアンカーの健全度評価が低下すると切土が崩壊するリスクが増大することが想定される。そのため、旧タイプグラウンドアンカーに対して事前の対策を検討する必要がある。

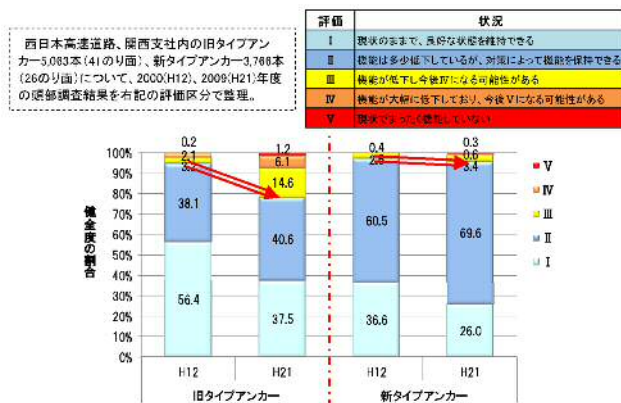


図18 グラウンドアンカーの評価区分と
新旧タイプアンカー健全度評価

3.5 排水構造物

1991年から1998年の豪雨および台風により、のり面災害が発生した10路線326箇所について、排水構造物と崩壊との関連性を盛土部と切土部に分けて分析した。降雨分析の結果、盛土部については図19に示すように、切土部については図20に示すように約半数近くが排水構造物直接関与した崩壊であることが解った。

また、3章で使用した災害データを用い、排水構造物の

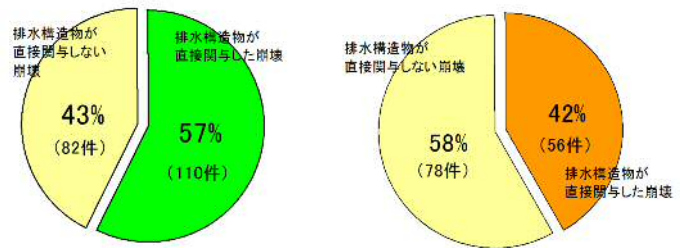
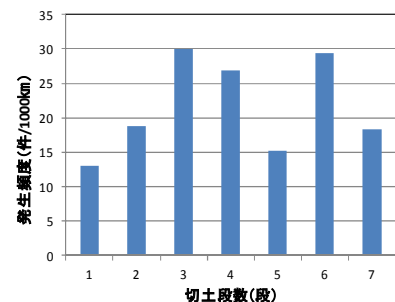
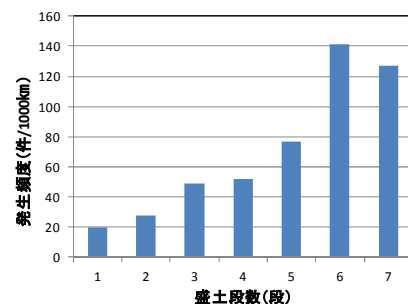


図19 盛土部の降雨災害分析 図20 切土部の降雨災害分析

不備に伴う降雨災害件数をのり面の高さごとののり面延長あたりの発生頻度を図21に整理した。図より3段以上ののり面において被災頻度が高くなり、1段ののり面の約2倍強の被災確率となる。また、切土部に比べ、盛土部の発生頻度が全体的に高い。したがって、3段以上ののり面は、1km当たりの被災件数も多く、特に盛土のり面は被災するリスクが高くなることから、事前対策を検討する必要がある。さらに、設計・施工基準類の変遷に伴い1982年以前は排水計算に基づき排水溝の幅が決定されていたため、排水溝幅が0.3m未満の排水溝が存在している。小断面の排水溝は枯葉等の堆積により通水阻害を起こしやすい。このため、1983年以降は排水溝幅を0.3m以上と規定しているが、これ以前の排水溝は降雨災害の発生リスクが高いと考えられ事前対策を検討する必要がある。



a) 切土部



b) 盛土部

図21 排水構造物の不備による災害発生頻度の傾向

3.6 分析結果のまとめ

以上より、盛土、切土、排水構造物の変状分析の結果をまとめると次のとおりである。

a)盛土

- ・粘性土、まさ土、山砂、泥岩、しらすを用いた盛土は、被害件数が多い
- ・泥岩、まさ土、しらすを用いた盛土では、1件当たりの被災土量が多い
- ・3段以上の盛土については、1km当たりの被災件数も多く、崩壊規模が大きい
- ・盛土に関する基準類の変遷から1986年以前は、脆弱岩盛土に対する設計基準及び施工基準がない

b)切土

- ・グラウンドアンカーの基準類の変遷から1991年以前の旧タイプアンカーは、防食機能が不十分であり腐食による変状が発生

c)排水構造物

- ・のり面崩壊の半数は排水構造物が直接関与した崩壊である
- ・排水の不備によるのり面災害は3段以上ののり面で発生頻度が高い
- ・排水構造物の設計基準の変遷から、1982年以前は、小断面の排水溝を使用しており、排水能力が低い

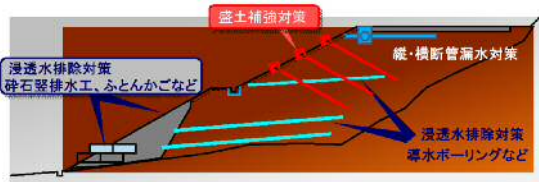


図22 盛土のり面大規模修繕対策のイメージ



図23 碎石堅排水工とふとんかごを併用した対策

4. 大規模修繕と対策

4.1 盛土

変状分析結果を受けて、対策が必要としたのり面に対して、盛土内浸透水排除対策、盛土補強対策、横断管路漏水対策を標準とした。図22に対策工のイメージを示す。対策工の1つである、盛土内浸透水排除対策については、碎石堅排水工²⁾、ふとんかご、排水パイプ工、導水ボーリング工を想定しており、変状分析結果を受けて対象としたのり面に対しては必ず実施することとした。碎石堅排水工とふとんかごを併用したのり面対策の施工イメージを図23に示す。

4.2 切土（グラウンドアンカー）

切土（グラウンドアンカー）の対策工法は対策が必要としたのり面に対して、図24の選定フローに従い対策工を決定することを標準とした。新タイプアンカーによる増し打ちアンカーによる対策については、他の工法に拠ることができない場合に選択する工法とした。

4.3 排水構造物

排水構造物の対策工法は、小段排水が0.3mに満たないものについては、排水溝取替えまたは、シールコンクリートの施工をすることとした。のり面段数が3段以上の切土部、盛土部については、縦排水溝と小段排水溝の合流する集水ますの溢水対策については、減水工を設置する対策が有効である³⁾という既往の結果を用いた対策と、溢水防止壁の設置による溢水対策を実施することとした。

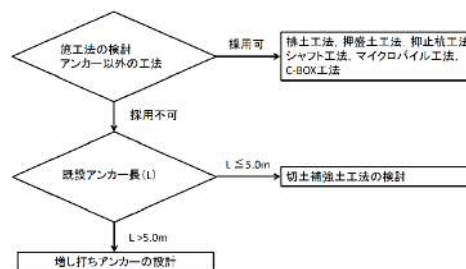


図24 切土のり面对策工法選定フロー

5. まとめ

以上のように、長期保全等検討委員会での検討と整理を踏まえて公表された内容について、盛土、切土、排水構造物に的を絞って被災要因や変状のデータから分析結果をとりまとめた。また、分析結果から大規模修繕が必要である対象となるのり面について、各土工構造物の対策工法をとりまとめた。土工構造物の大規模修繕については、NEXCOで今後、調査、設計、施工を進めていく予定であるが、その中で得られた知見を、先に続く大規模修繕にフィードバックし、より合理的、効果的な対策としていく所存である。

参考文献

- 1) 高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会報告書、2014.1
- 2) 長尾和之、安井敏洋、天野淨行、鈴木雄吾、安部哲生：碎石堅排水工による既設高速道路盛土内浸入水の排除効果、第49回地盤工学会研究発表会、2014.
- 3) 永田政司、藤岡一頼、篠田雅男、池永均：盛土のり面の排水合流部における溢水対策について、平成26年度土木学会全国大会第69回年次学術講演会、2014.